

RAPPORT

Draagkracht grondwater Noord- Brabant

Methodiek

Klant: Provincie Noord-Brabant

Referentie: BF3125

Versie: 1.0/Finale versie

Datum: 21 december 2017



HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Netherlands
Water

Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Draagkracht grondwater Noord-Brabant

Ondertitel:
Referentie: **BF3125**
Versie: **1.0/Finale versie**
Datum: **21 december 2017**
Projectnaam: **Draagkracht Noord-Brabant**
Projectnummer: **BF3125_R002**
Auteur(s): **Floris Verhagen, Joachim Hunink (Deltares), Tom van Steijn, Anke Luijben**

Opgesteld door: **Floris Verhagen**

Gecontroleerd door: **Andries Krikken**

Datum/Initialen: **21-12-2017** 

Goedgekeurd door: **Floris Verhagen**

Datum/Initialen: **21-12-2017** 

Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Draagkrachtstudie	1
1.2	Aanpak op hoofdlijnen	1
2	Grondwatermodel	2
2.1	Modelopzet	2
2.2	Slenk model	7
2.3	Scenario's	8
3	Methodiek	9
3.1	Indeling in deelgebieden	9
3.2	Indeling lagen in watervoerende pakketten	10
3.3	Waterbalans	14
3.4	Effecten op grondwaterstand en stijghoogte	15
3.5	Effecten op beekafvoer	18
3.6	Samenvattend beeld	20
4	Definitie van de referentie situatie	21
	Literatuur	23

1 Inleiding

Dit deelrapport geeft een overzicht van de methodiek voor het bepalen van de draagkracht van het grondwatersysteem in Noord-Brabant.

1.1 Draagkrachtstudie

De studie naar de draagkracht van het grondwatersysteem heeft tot doel te bepalen hoe de grondwateraanvulling en onttrekking in Noord-Brabant zich tot elkaar verhouden en hoe gevoelig het grondwatersysteem hiervoor is. Bij de onderhavige studie wordt uitgegaan van de huidige hydrologische situatie en de huidige grondwateronttrekkingen. Bij het onderzoek naar de effecten van de onttrekkingen zijn tevens verschillende scenario's van klimaatverandering en verandering in onttrekkingen in beschouwing genomen.

1.2 Aanpak op hoofdlijnen

De draagkracht van het grondwatersysteem is in beeld gebracht aan de hand van berekeningen met een geohydrologisch model van de provincie Noord-Brabant. Hiervoor maken we gebruik van het bestaande Brabant model. Dit model is opgezet in het samenwerkingsverband tussen provincie en de Brabantse waterschappen en Brabant Water en is continu in ontwikkeling. Voor deze studie is de meest recente versie gebruikt uit 2017. De onttrekkingshoeveelheden voor drinkwater en industrie zijn gecontroleerd en verbeterd.

In het studiegebied zijn vijf deelgebieden onderscheiden. Per gebied is onderzocht wat een toename van de grondwateronttrekking voor invloed heeft op de waterbalans. In deze balans zijn naast de onttrekking de volgende termen onderscheiden:

1. Infiltratie van het overschot van neerslag en berekening via de grondwaterspiegel naar de verzadigde zone.
2. Infiltratie vanuit open water naar de verzadigde zone.
3. Horizontale in- en uitstroming van grondwater uit en naar omliggende gebieden.
4. Netto verticale grondwaterstroming naar de oppervlakte.

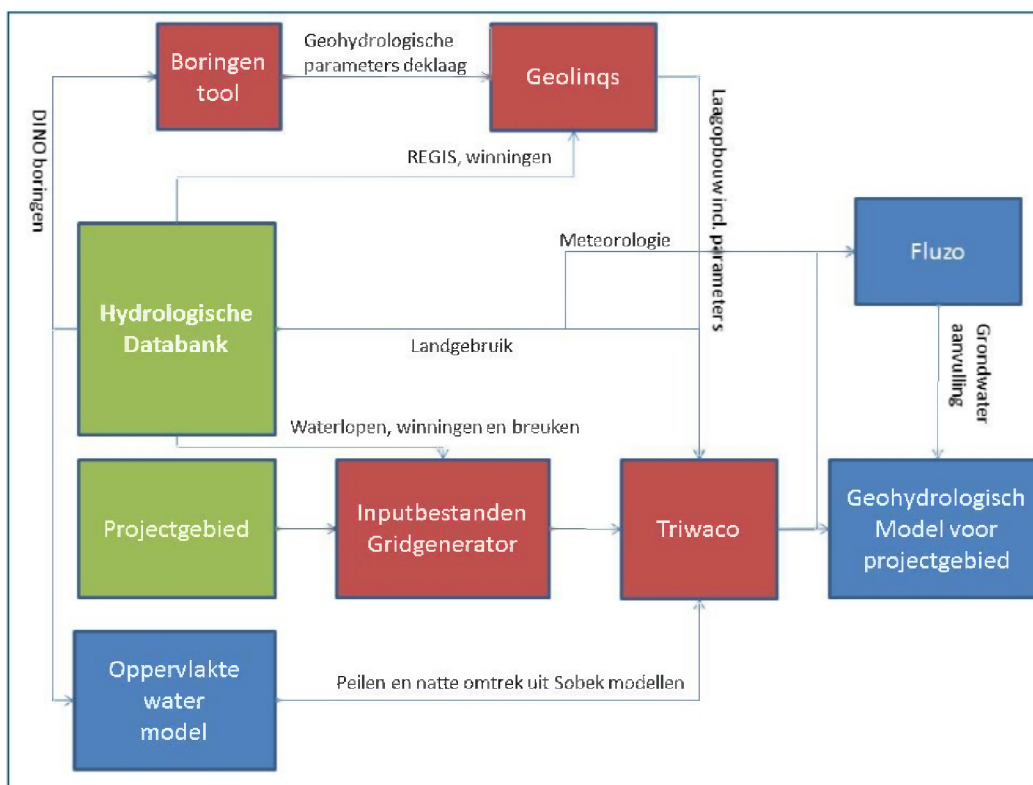
De toename van de grondwateronttrekking veroorzaakt in de eerste plaats een verandering in het ruimtelijke patroon van stijghoogten en grondwaterspiegels. Deze verandering in gradiënten leidt tot verandering in de grondwaterfluxen en daarmee de grootte van de verschillende balanstermen. De gevoeligheid van de verschillende balanstermen en hun gekoppelde stijghoogten/grondwaterstanden voor verandering is bepaald door de hydrogeologische eigenschappen van de ondergrond, het ruimtelijk patroon van de ontwateringsmiddelen (onder andere het drainagenetwerk en drainagebasis) en de grootte en locatie van de onttrekking.

De draagkracht van het (sub)systeem wordt bepaald door de mate van wijzigingen in de verschillende balanstermen en de stijghoogten/grondwaterstanden als gevolg van een verandering in onttrekking of klimaatverandering. In de huidige studie zijn de locaties van de onttrekkingen beperkt tot de huidige onttrekkingslocaties. Voor elk door te rekenen scenario is in beeld gebracht wat de verandering is in grondwaterstand, stijghoogte en basisafvoer naar het oppervlaktewater. Bovendien is de waterbalans in beeld gebracht.

2 Grondwatermodel

2.1 Modelopzet

Voor het Draagkracht onderzoek is gebruik gemaakt van de meest recente versie (2017) van het bestaande Brabant model. Het Brabant model is ontwikkeld sinds 2006 volgens de principes van de Hydrologische Gereedschapskist (HGK). Het model is in feite een instrumentarium dat gebruik maakt van verschillende programma's om geautomatiseerd en gestructureerd van basisdata tot modellen te komen en ook modellen na te bewerken (Verhagen et al, 2014). Op het moment dat basisgegevens in de databank verbeterd zijn, kan snel weer een nieuw model gemaakt worden. Er is de laatste jaren veel inspanning gestopt in het verzamelen en verbeteren van de basisgegevens. De achterliggende data is verbeterd, zowel voor het oppervlaktewater als voor de schematisatie van de ondergrond. Er wordt regelmatig gewerkt aan het verbeteren van de rekeninstrumenten. In 2017 zijn de hoeveelheden onttrokken water door waterbedrijven en industrie geactualiseerd. Er is gerekend met het programma MODFLOW 2000 voor de verzadigde zone en met Fluzo voor de onverzadigde zone. De hoeveelheid water onttrokken voor beregning is bepaald met een aparte module, die is ontwikkeld ter onderbouwing van het beregeningsbeleid.



Figuur 2-1 Het modelinstrumentarium van het Brabant model volgens de principes van de HGK

Modelgrid

Het model bestaat uit gridcellen met een gridgrootte van 250 * 250 meter met 19 lagen.

Modelperiode

Er zijn stationaire berekeningen en niet stationaire berekeningen uitgevoerd voor de periode 2000 tot en met 2009. Binnen deze periode is de GHG en GLG bepaald door de hoogste en laagste grondwaterstand die 10% van de tijd wordt overschreden (GHG) of onderschreden (GLG).

Ondergrond

Voor het converteren van de basisgegevens vanuit de databank naar modelgegevens is het hulpprogramma GeoLinQs gebruikt dat helpt bij het genereren van de laagopbouw. Figuur 2-1 laat zien hoe GeoLinQs verschillende informatiebronnen – zoals DOV (Databank Ondergrond Vlaanderen) of REGIS (REgionaal Geohydrologisch Informatie Systeem) – gebruikt om automatisch een nieuw lagenmodel te genereren. Er is bijgehouden welke REGIS- en DOV-lagen samen de modellagen moeten vormen. Aan deze lagen kan aanvullende informatie worden toegevoegd, zoals de zandbanenkaart in het Rivierengebied, Geotop informatie (3D-opbouw van de geohydrologie tot 50 meter diep, beschikbaar in het noordwestelijk poldergebied), geologische breuken, stuwing, lokale aanvullingen op REGIS of een eigen interpretatie op basis van boringen. Het resultaat is een bestand met laagopbouw dat voor het geohydrologisch model gebruikt wordt.

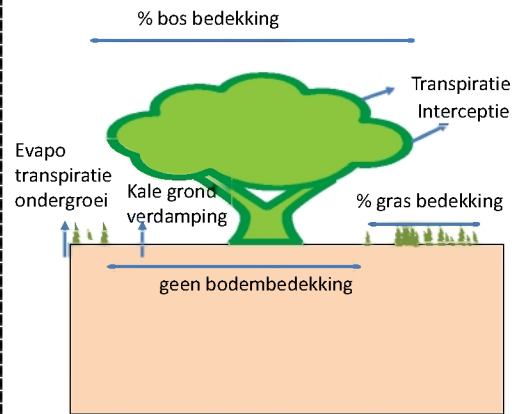
Grondwateraanvulling

Grondwateraanvulling kan op gebiedsschaal niet direct gemeten worden. Er is namelijk geen meetinstrument beschikbaar dat bijhoudt hoeveel water van de onverzadigde naar verzadigde zone stroomt. De grondwateraanvulling moet daarom indirect bepaald worden door het meten van de neerslag en de werkelijke verdamping. Dit wordt gedaan in een afgesloten bak, een lysimeter. Het bepalen van de werkelijke verdamping voor een groter gebied is ingewikkeld (zie intermezzo). De grondwateraanvulling wordt daarom bepaald met modellen.

Modelconcepten voor het berekenen van de grondwateraanvulling verschillen van elkaar. In Nederland worden onder andere de modellen FLUZO, MetaSWAP en SWAP gebruikt. Analyse van meetresultaten laat zien dat geen van de modellen de metingen benadert binnen een marge van 15% op maandbasis voor iedere maand (Boleij, 2012). De grondwateraanvulling in het Brabant model is berekend met FLUZO, een rekencode ontwikkeld door Royal HaskoningDHV. Er is een databank aangemaakt waarin voor een groot aantal combinaties van grondgebruik, bodemtype, neerslag, verdamping en grondwaterstand de bijbehorende grondwateraanvulling is opgeslagen. Hiermee is berekend (1) het vochtgehalte in de bodem, (2) de actuele verdamping op basis van grondgebruik, bodemtype, dikte onverzadigde zone en neerslag en (3) potentiële verdamping. Het grondwatermodel gebruikt per rekencel de door FLUZO berekende grondwateraanvulling uit deze databank. Dit gaat op basis van de berekende grondwaterstand van die tijdstap en het grondgebruik en bodemtype van de betreffende cel.

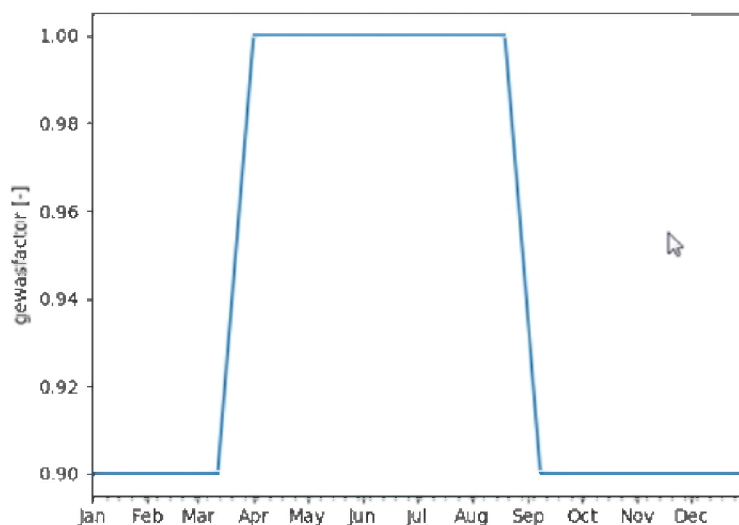
Voor de potentiële verdamping wordt gebruik gemaakt van de Makkink referentieverdamping van het KNMI. Deze verdamping is gebaseerd op perfect onderhouden en van voldoende water voorzien gras. Voor de overige gewassen gelden andere getallen. Uit proeven door het KNMI met lysimeters is de verhouding bepaald tussen de verdamping van diverse planten tot de referentie-gewasverdamping. Deze gewasfactoren verschillen per (landbouw)gewas en per maand. Gedurende het groeiseizoen varieert voor de meeste landbouwgewassen de gewasfactor afhankelijk van het ontwikkelingsstadium. Als voorbeeld is de grafiek van de gewasfactor voor gras opgenomen (Figuur 2-2). Door klimaatverandering kan het groeiseizoen langer worden. In de draagkrachtstudie is geen rekening gehouden met dit effect en zijn de grafieken met gewasfactoren niet in de tijd aangepast.

Intermezzo: Bepalen van de grondwateraanvulling (gebaseerd op Verhagen et. al, 2014)



In laag Nederland is de vochtvoorziening van de vegetatie vaak zo goed dat de vegetatie optimaal kan verdampen. De werkelijke (actuele) verdamping is dan vrijwel gelijk aan de potentiële verdamping. Fouten in de berekening van het neerslagoverschot zijn daarom onder normale weersomstandigheden relatief beperkt. Op de hoge zandgronden van Noord-Brabant en een diepe grondwaterspiegel, kan de werkelijke verdamping door vochtgebrek in de wortelzone van de bodem echter drastisch teruglopen. Doordat dit proces moeilijk nauwkeurig na te bootsen is, vooral door gebrek aan kennis over het verdampingsgedrag

van de vegetatie bij droogte, zijn er fouten in de grondwateraanvulling te verwachten. Deze kunnen in modellen gecompenseerd worden door modelparameters bij te stellen, maar uiteindelijk kan dit tot verkeerde voorspellingen leiden. Schatting van de werkelijke verdamping is een onderwerp dat de laatste jaren weer sterk onder de aandacht is gekomen. In een NHV-special (2015) is de meest recente kennis over verdamping verwerkt. Het plaatje hiernaast geeft een versimpeld overzicht van de verschillende onderdelen van het verdampingsproces. Water kan verdampen als opgevangen regenwater op de bladeren (interceptie), via de bodem (bodemverdamping, en via de huidmondjes van bladeren (transpiratie). De grootte van de verdamping wordt behalve door meteorologische omstandigheden en hoeveelheid beschikbaar water (die afhankelijk is van de bodemeigenschappen) bepaald door het type vegetatie of gewas. Al deze parameters hebben hun eigen onzekerheid, wat de berekeningen van de actuele verdamping, en dus grondwateraanvulling onzeker maakt. Verdamping kan op verschillende manieren bepaald worden. Met remote sensing kan aan de hand van warmtebeelden een schatting worden gemaakt. Of op een veel kleinere schaal kan in een proefopstelling met lysimeters (waterbalans) of micro-meteorologische meetopstellingen (transport van gassen) de verdamping worden bepaald. Vooral voor bossen is het moeilijk om de verdamping te schatten. Voor gemiddelde situaties kan in bos de verdamping redelijk geschat worden. Maar de onzekerheid neemt toe in het geval dat de bodem sterk uitdroogt of interceptieverdamping een grote rol speelt (Moors, 2012). De onzekerheden in de berekening van de verdamping worden geschat op 20-40 % (zie o.a. Allen e.a. 2011; NHV, 2015). Dit is de onzekerheid voor een goede schatting op één punt. Voor een afzonderlijk punt is een uitgebreide meetcampagne nodig om inzicht te krijgen in het verdampingsgedrag. Daarmee hebben we nog geen vlakdekkende cijfers om een betrouwbare berekening voor de totale werkelijke verdamping van Noord-Brabant te maken.



Figuur 2-2 Gewasfactor voor gras in FLUZO

Er is voor het landelijk gebied geen rekening gehouden met oppervlakkige afstroming: regenwater dat over maaiveld in het oppervlaktewatersysteem terecht komt en direct wordt afgevoerd. Binnen FLUZO zal dit water infiltreren en via het ondiepe grondwatersysteem door waterlopen of andere drainagemiddelen worden afgevoerd. Hierdoor kan de berekening van de grondwateraanvulling bij hevige neerslag enigszins worden overschat.

De grondwateraanvulling is afhankelijk van de diepte van de grondwaterstand. De berekende veranderingen in grondwaterstand in de scenario's voor de draagkrachtstudie zijn zo gering (enkele centimeters) dat geen verandering in grondwateraanvulling wordt berekend.

Er is gerekend met tijdstappen van 5 dagen. Er is gebruik gemaakt van de geregistreerde neerslag en verdampingsdata van het KNMI. Er is gebruik gemaakt van alle KNMI meetstations binnen het modelgebied. De meetgegevens worden ruimtelijk geïnterpoleerd met Thiessen polygonen.

Berekening

De benodigde hoeveelheid berekening is bepaald met een in 2014 ontwikkelde tool (RHDHV, 2014) ten behoeve van de aanpassing van het beregeningsbeleid. Het instrument maakt gebruik van de onverzadigde zone module FLUZO. Het berekende verschil tussen de potentiële en actuele gewasverdamping in de tijd is gebruikt om de beregeningsbehoefte te bepalen. Als de actuele verdamping achterblijft bij de potentiële verdamping is er beregeningsbehoefte. De beregeningsbehoefte is gekalibreerd op het rendement van de berekening die per jaar verschilt. De verdeling van wat door de plant wordt gebruikt en wat aan het grondwater wordt toegevoegd is gebaseerd op een empirische formule (RHDHV, 2014). Standaard wordt uitgegaan van 10 % verlies met daarboven een berekend rendement (R tussen 0 en 1) afhankelijk van de actuele verdamping (Ea) en potentiële verdamping (Ep):

$$R = 0.22 + 0.78 \cdot (1 - (30 - Ep + Ea) / 30) \text{ met } R \leq 1$$

In droge jaren zal al het water door de plant worden opgenomen; in natte jaren is er een overschot dat ten goede komt aan het grondwater. Verder is in de kalibratie rekening gehouden met de straal rond de put waar beregend kan worden. De locaties van de beregeningsputten zijn ontleend aan het vergunningenbestand van de waterschappen. De diepte van onttrekken is bepaald uit het doorlaatvermogen van de modellaag. De eerste modellaag met een doorlaatvermogen van groter dan 300 m²/d wordt geschikt geacht voor beregening met een maximale diepte van 80 meter.

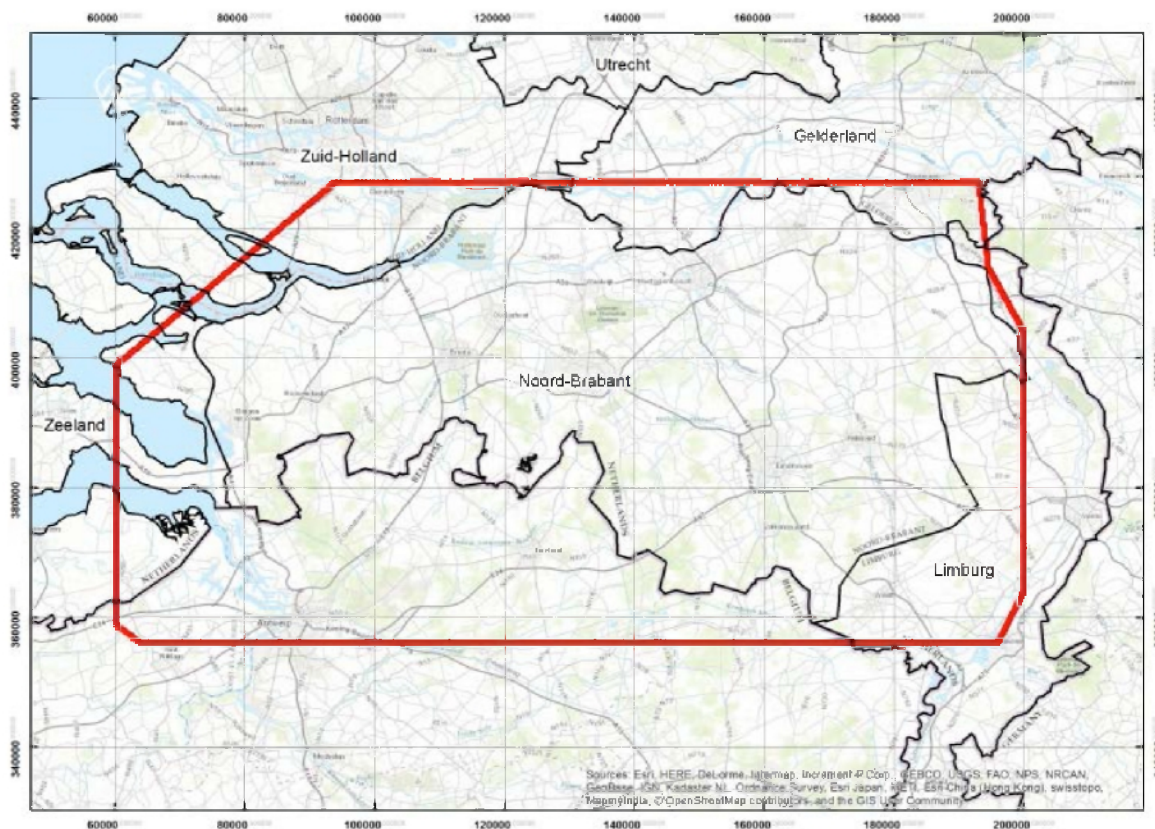
Onttrekkingen

Bij de provincie en waterschappen zijn de actuele gegevens opgevraagd over de grondwateronttrekkingen. De onttrekkingen voor Limburg (gebaseerd op het NHI) en Vlaanderen (op basis van vergunde debieten) zijn overgenomen uit het bestaande Brabant model.

IJking

Het model is gekijkt aan gemeten grondwaterstanden en stijghoogten. Het Brabant model is in 2013 voor het laatst gekalibreerd op de schaal van de gehele provincie (RHDHV, 2013).

Het modelgebied van het Brabant model is weergegeven in Figuur 2-3.

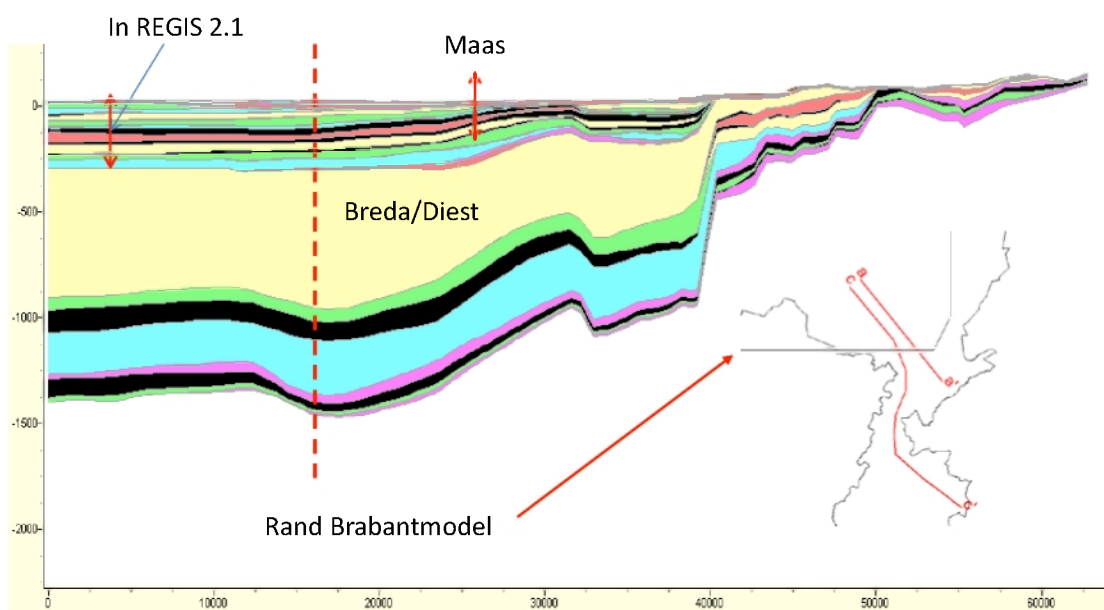


Figuur 2-3 Het modelgebied van het Brabant model

2.2 Slenk model

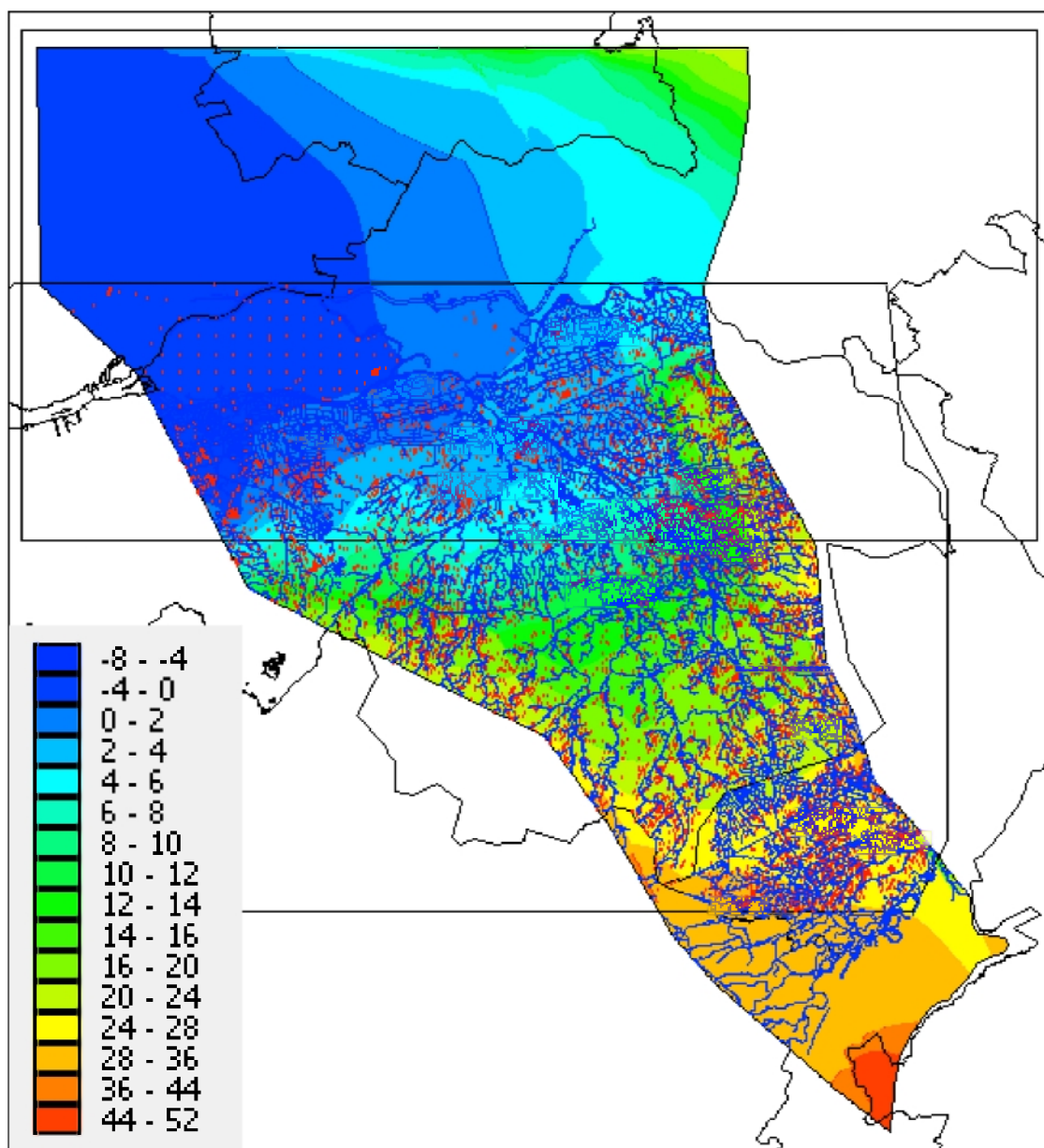
Het modelgebied moet voldoende groot zijn om betrouwbaar effecten en de waterbalans te kunnen berekenen. Wanneer de effecten van ingrepen tegen de rand aan komen, bepaalt deze rand het berekende effect waardoor een onderschatting van het effect mogelijk is. Ofwel de door te rekenen effecten mogen niet verder uitstralen dan de modelrand. Het Brabant model is tot heden alleen gebruikt voor het bepalen van effecten van lokale en ondiepe maatregelen. Het model is op provincieschaal nog niet ingezet voor het doorrekenen van scenario's waarbij diepe onttrekkingen grootschalig worden aangepast. Uit een controle bleek dat de effecten van aanpassingen van diepe winningen verder uitstralen voor de diepe modellagen in de Centrale Slenk.

Als oplossing is een apart groter Slenk model gemaakt met een gridafstand van 250 meter. In dit model is de ondergrond overgenomen uit REGIS 2.1, DOV en H3O. Voor de diepe ondergrond is gebruik gemaakt van H3O omdat hier ook de diepere lagen in zijn opgenomen zoals de Formatie van Breda/Diest. In Vlaanderen is dit een watervoerende laag, terwijl deze laag slecht doorlatend is in Nederland. Het model omvat een gedeelte van Vlaanderen. Daarom is ook gebruik gemaakt van Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV).



Figuur 2-4 Dwarsprofiel (c-c') van het Slenkmodel

Het modelgebied loopt van halverwege de provincie Utrecht tot en met de Duitse grens in Limburg. Binnen de provincie Noord-Brabant is het topsysteem op dezelfde wijze geschematiseerd als het Brabant model. Buiten de provinciegrenzen is het topsysteem vereenvoudigd geschematiseerd. Met dit model is berekend wat de effecten zijn op verandering in stijghoogte aan de modelrand van het Brabant model. Dit is gedaan voor verschillende onttrekkingsscenario's. De nieuw berekende stijghoogterand is vervolgens opgelegd op de modelrand in het Brabant model. De berekende stijghoogte voor de huidige situatie is gepresenteerd in Figuur 2-5.



Figuur 2-5 *Berekende diepe stijghoogte (m NAP) in modellaag 18 in het Slenk model*

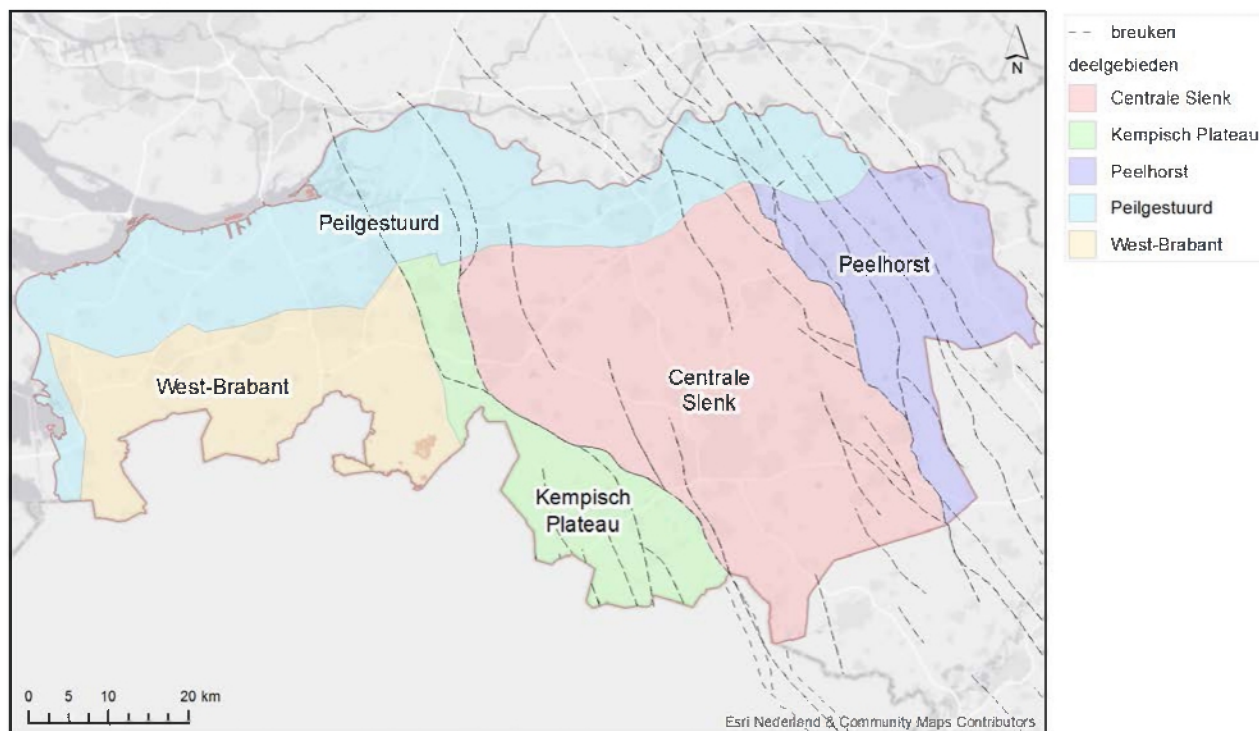
2.3 Scenario's

Om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van het grondwatersysteem zijn verschillende scenario's doorgerekend met een stationair en een niet stationair model. Deze scenario's omvatten klimaatverandering en veranderingen in grondwateronttrekkingen ten behoeve van drinkwater, industrie en beregening. Deze scenario's zijn in het hoofdrapport Analyse beschreven.

3 Methodiek

3.1 Indeling in deelgebieden

De analyse is uitgevoerd voor vijf deelgebieden. Deze gebieden zijn afgebakend op basis van de geologische opbouw. De analyses van de waterbalans en de effecten op grondwaterstand, stijghoogten en beekafvoer worden op het niveau van deze deelgebieden gepresenteerd



Figuur 3-1 Indeling in 5 deelgebieden

3.2 Indeling lagen in watervoerende pakketten

Voor de vijf deelgebieden is de waterbalans bepaald. De deelgebieden zijn verticaal ingedeeld in 1 tot drie watervoerende pakketten, afhankelijk van de geohydrologische opbouw. Het geohydrologisch model is opgebouwd uit 19 modellagen die zijn gekoppeld aan lagen uit REGIS. Deze 19 lagen zijn in het Brabant model verdeeld per geologische laag volgens Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Laagopbouw van het model (grijs = aquitard, wit = aquifer)

Modellaag	REGIS II	Formaties
1	HLC	Holoceen
	HLC	Holoceen
2	Bxz1	Boxtel
	BXlmk1 & Bxk1	Boxtel/Liempde & Boxtel
3	Bxz2	Boxtel
	Bxk2	Boxtel
4	Bxz3, Krz2, Krz3, KrK1, Bez1, Berok1, Bek1, Bez2, Bek2, Bez3, Krz4, Krz5, Krz6, Stz1	Boxtel, Kreftenheye, Beegden en Sterksel
	Stk1	Beegden en Sterksel
5	Stz2, Syz1	Sterksel en Stramproy
	Syk1	Stramproy
6	Syz2	Stramproy
	Syk2	Stramproy
7	Syz3	Stramproy
	Syk3	Stramproy
8	Syz4	Stramproy
	Wak0	Waalre
9	Pzwaz2	Peize / Waalre
	Wak1	Waalre
10	Pzwaz3, Pzwaz4	Peize / Waalre
	Wak2	Waalre
11	Pzwaz5	Peize / Waalre
	Wak3	Waalre
12	Pzwaz6, Pzwaz7, Msz1, Msc	Peize / Waalre & Maassluis
	Msc & Msk1	Maassluis
13	Msz2	Maassluis
	Msk2	Maassluis
14	Msz3, Kiz1	Maassluis & Kiezeloöliet
	Kik1	Kiezeloöliet
15	Kiz2	Kiezeloöliet
	Kik2	Kiezeloöliet
16	Kiz3	Kiezeloöliet
	Kik3, Kik4	Kiezeloöliet
17	Kiz4, Kiz5, Kiz6, Ooz1, Ooc	Kiezeloöliet & oosterhout
	Kik5, Ook1, Ook2, Ooc	Kiezeloöliet & Oosterhout
18	Ooz2, Ooz3, Brz1	Oosterhout & Breda
	Brk1,	Breda
19	Brk1, Brz2	Breda
	Hydrologische basis	Rupel, Breda

De vijf geohydrologische deelgebieden kunnen als volgt worden gekenschetst:

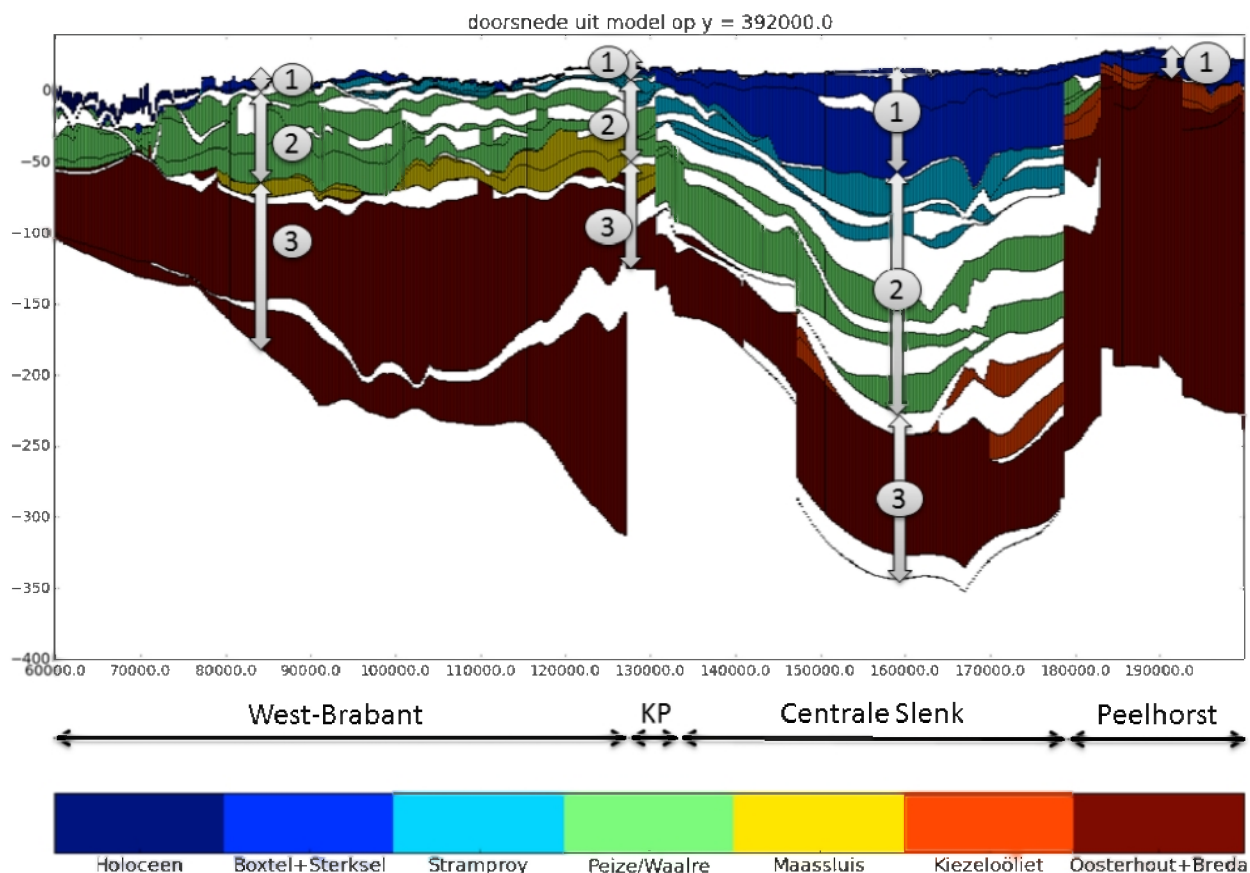
1. **West Brabant:** aan het oppervlak ligt een dun watervoerend pakket (formaties van Boxtel, Sterksel en Kreftenheye) met daaronder een slecht doorlatende laag van de kleien van Stramproy/Waalre. Hieronder bevinden zich 2 dikke mariene watervoerende pakketten (Maassluis en Oosterhout), die af en toe door dunne kleiige lagen worden gescheiden. Uit deze twee watervoerende pakketten wordt water gewonnen voor de drinkwatervoorziening.
2. **Kempisch Plateau:** strekt zich uit van België tot in het zuidelijke deel van Noord-Brabant. Het Kempisch Plateau in het Nederlands deel bestaat uit een 2 lagen systeem. Het bovenste watervoerende pakket wordt gevormd door de Formatie van Sterksel; het onderste door de Kiezeloöliet en Maassluis Formatie.
3. **Centrale Slenk:** bestaat vooral uit fluviatiele afzettingen van het Rijn-Maas systeem met een diepe hydrologische basis van meer dan 250 meter onder maaiveld. De watervoerende pakketten en scheidende lagen zijn ruimtelijk grotendeels aaneengesloten in de Centrale Slenk. De watervoerende pakketten en slecht doorlatende lagen hebben grote diktes en daardoor hoge transmissiviteit en weerstand. Naar het zuidoosten toe wordt de Kiezeloöliet Formatie geleidelijk minder doorlatend en geeft dus meer weerstand. De meeste weerstand zit in de kleilagen van Waalre/Stramproy. De watervoerende pakketten onder deze laag (nummer 2 en 3 in Figuur 3-3) zijn goed beschermd. Dit wordt daarom in KRW termen "Slenk Diep" genoemd. Aan het oppervlak ligt de Formatie van Boxtel, een heterogene fijnzandige afzetting van ongeveer 20 meter dikte met leem en veenlaagjes.
4. **Peelhorst:** De hoog gelegen Peelhorst wordt begrensd door de Peelrandbreuk in het westen en de Grave-breuk in het oosten. Het gebied ten oosten van de Grave-breuk is de Venloslenk en het gebied ten westen van de Peelrandbreuk de Centrale slenk. Het watervoerende pakket is dun en bevat zanden afgezet door rivieren (de formaties van Beegden en Kreftenheye).
5. **Peilgestuurd gebied:** afdekkende holocene kleilaag aan het oppervlak. Geologisch gezien loopt de diepe ondergrond van west naar oost en bevat daarom de kenmerken van West-Brabant, Kempisch Plateau, Centrale Slenk en de Peelhorst.

Onttrekking van grondwater vindt plaats op verschillende dieptes Tabel 3-2). In West-Brabant wordt het meeste water diep gewonnen uit de Formatie van Oosterhout (laag 18, zie Tabel 3-2). In de Centrale Slenk is een concentratie van waterwinning uit de Formaties van Sterksel (laag 4), Peize/Waalre (laag 10-12) en Kiezeloöliet (laag 15-17). In de andere drie deelgebieden wordt minder water onttrokken.

Tabel 3-2 Onttrekking(drinkwater, industrie en beregening) in 1000 m³ per dag per modellaag van het Brabant model

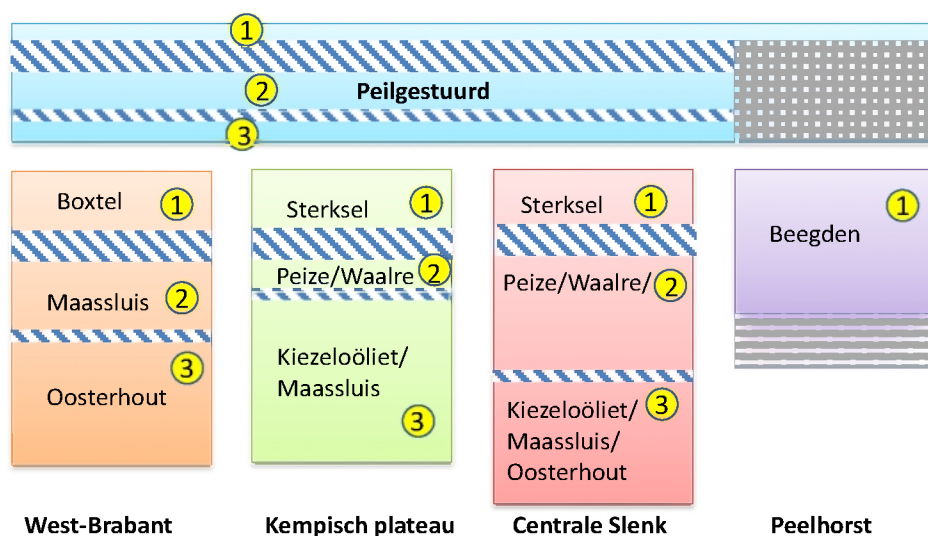
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
West-Brabant	0	0	0	0	1	0	0	0	1	7	7	15	2	12	0	0	1	141	2
Peilgestuurd	1	0	0	16	0	0	1	1	0	13	15	6	0	0	0	0	0	32	0
Kempisch Plateau	0	0	0	3	0	1	0	3	0	4	2	2	15	16	8	1	2	5	0
Slenk	0	0	1	57	0	7	1	1	0	33	71	41	3	2	16	18	25	7	0
Peelhorst/Venloslenk	0	0	0	12	0	0	0	0	0	4	1	1	0	0	1	2	0	0	0

Op basis van deze indeling en de verdeling van onttrekking over de watervoerende lagen wordt een indeling voor elk deelgebied voorgesteld in drie watervoerende pakketten. Alleen het dunne watervoerende pakket van de Peelhorst bestaat uit één watervoerend pakket.



Figuur 3-2 Geohydrologisch dwarsprofiel met een indeling in zeven geologische lagen (in kleur) en vertaling naar de waterbalans in drie watervoerende pakketten (pijlen)

In Figuur 3-3 is samengevat hoe de vier deelgebieden zijn onderverdeeld in watervoerende pakketten. Voor het peilgestuurd gebied wordt van west naar oost de indeling gebruikt van West-Brabant, het Kempisch Plateau, De Slenk en de Peelhorst.



Figuur 3-3 Indeling in watervoerende pakketten per deelgebied

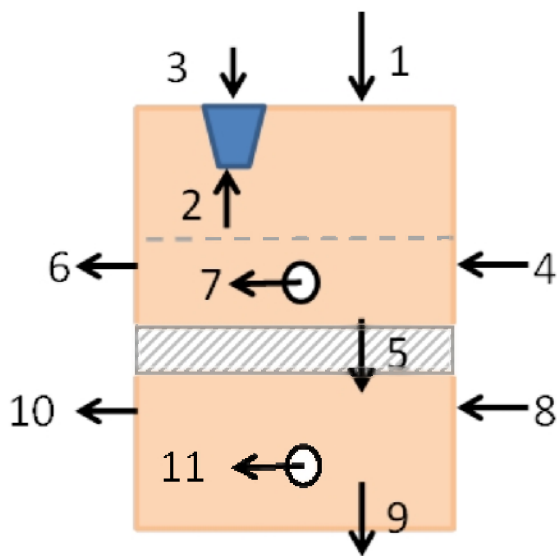
Het resultaat van de indeling is gepresenteerd in Tabel 3-3. De drie watervoerende pakketten zijn in een aparte kleur weergegeven. Per watervoerende laag is de globale range in kD-waarden weergegeven. Uitschieters naar beneden en boven zijn buiten beschouwing gelaten. De watervoerende pakketten met de hoogste kD-waarden zijn in rood weergegeven. Dit zijn de pakketten waar potentieel het meeste water uit gewonnen kan worden. Voor de scheidende lagen is de c-waarde weergegeven, met de hoogste waarden in wit. Dit zijn de lagen die het meeste weerstand geven tegen verticale stroming tussen de watervoerende pakketten.

Tabel 3-3 Indeling in watervoerende pakketten per deelgebied (grijs = aquitard met c-waarde, wit = aquifer met kD-waarde)

Modellaag	Formaties	West	KP	Slenk	Peel horst	Peil gestuurd
1	Holoceen	1	1	1	1	
	Holoceen	1 - 1500	1	1	1	
2	Boxtel	1	1	1	1	
	Boxtel/Liempde & Boxtel	1	1	1 - 100	1	
3	Boxtel	1	1	1-50	1	
	Boxtel	1	1	100 - 1500	1	
4	Boxtel, Kreftenheye, Beegden en Sterksel	1	1 - 50	1000 - 2500	1 - 1000	
	Beegden en Sterksel	1	1-50	1-100	1	
5	Sterksel en Stramproy	1	1 - 500	500 - 2000	1	
	Stramproy	1-1000	1-2000	1-10000	1-10000	
6	Stramproy	1	1 - 300	1 - 500	1	
	Stramproy	1	1-500	500	1	
7	Stramproy	1	1	1 - 400	1	
	Stramproy	1	1	1-300	1	
8	Stramproy	1	1 - 500	1 - 800	1	
	Waalre	1 - 10000	1 - 1	1	1	
9	Peize / Waalre	1 - 300	1	1	1	
	Waalre	200 - 10000	500 - 10000	> 10000	1 - 1000	
10	Peize / Waalre	1 - 1000	1 - 300	1 - 1500	1	
	Waalre	1 - 1000	1 - 1000	2 - > 1	1	
11	Peize / Waalre	1 - 1000	1 - 500	1 - 2000	1	
	Waalre	1	1	1 - 1000	1	
12	Peize / Waalre & Maassluis	1-1000	1-500	1 - 2000	1	
	Maassluis	1-300	1 - 300	1 - 300	1	
13	Maassluis	1-500	1-500	1-500	1	
	Maassluis	1	1	1	1	
14	Maassluis & Kiezeloöliet	1 - 400	1 - 400	1 - 200	1	
	Kiezeloöliet	1	1	> 10000	1	
15	Kiezeloöliet	1	1 - 1000	1 - 1000	1	
	Kiezeloöliet	1	1	1 - 10000	1	
16	Kiezeloöliet	1	1	1 - 1500	1	
	Kiezeloöliet	1	1	1 - 10000	1	
17	Kiezeloöliet & Oosterhout	1	1 - 100	500- 1000	1	
	Kiezeloöliet & Oosterhout	500 - 10000	1 - 2000	1 - 10000	1	
18	Oosterhout & Breda	500 - 2500	1 - 1000	1 - 1000	1	
	Breda	800 - 6000	1 - 10000	1	1 - 10000	
19	Breda	1 - 1000	1 - 2000	1	500 - 1500	
	Rupel, Breda	Ondoorlatend				

3.3 Waterbalans

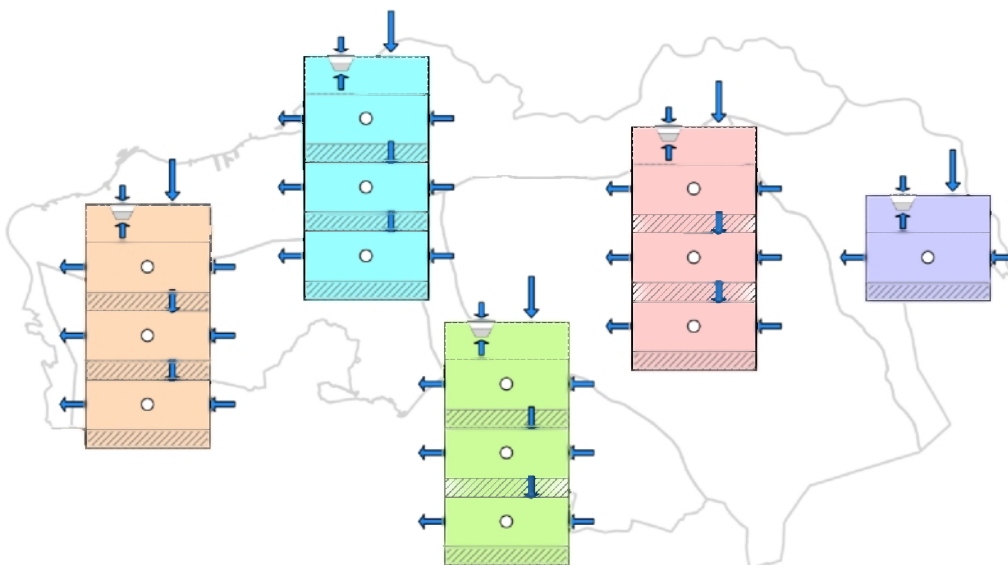
De waterbalans voor het grondwatersysteem wordt voor de huidige situatie weergegeven in absolute getallen: miljoen m³ per jaar. Indien de resultaten afkomstig zijn van niet stationaire berekeningen, kan worden gekozen om een zomersituatie of wintersituatie weer te geven. Voor de scenario's wordt de verandering in waterbalansterm weergegeven. Voor elk deelgebied wordt de waterbalans uitgewerkt in de volgende zeven fluxen:



1. Grondwateraanvulling (neerslag minus actuele verdamping).
2. Drainage van grondwater naar het oppervlaktewater.
3. Infiltratie van oppervlaktewater naar het grondwater. Dit is alleen van toepassing op waterlopen die water kunnen aanvoeren.
4. Horizontale instroom vanuit andere deelgebieden.
5. Verticale uitstroom naar het volgende watervoerende pakket. Een negatieve flux hier betekent dat er sprake is van netto opwaartse stroming.
6. Horizontale uitstroom naar andere deelgebieden of de provincie uit.
7. Grondwateronttrekking gesommeerd voor alle onttrekkingen ten behoeve van de drinkwatervoorziening, industrie en beregening
8. De posten 8 tot en met 11 zijn overeenkomstig het eerste watervoerende pakket uitgewerkt.

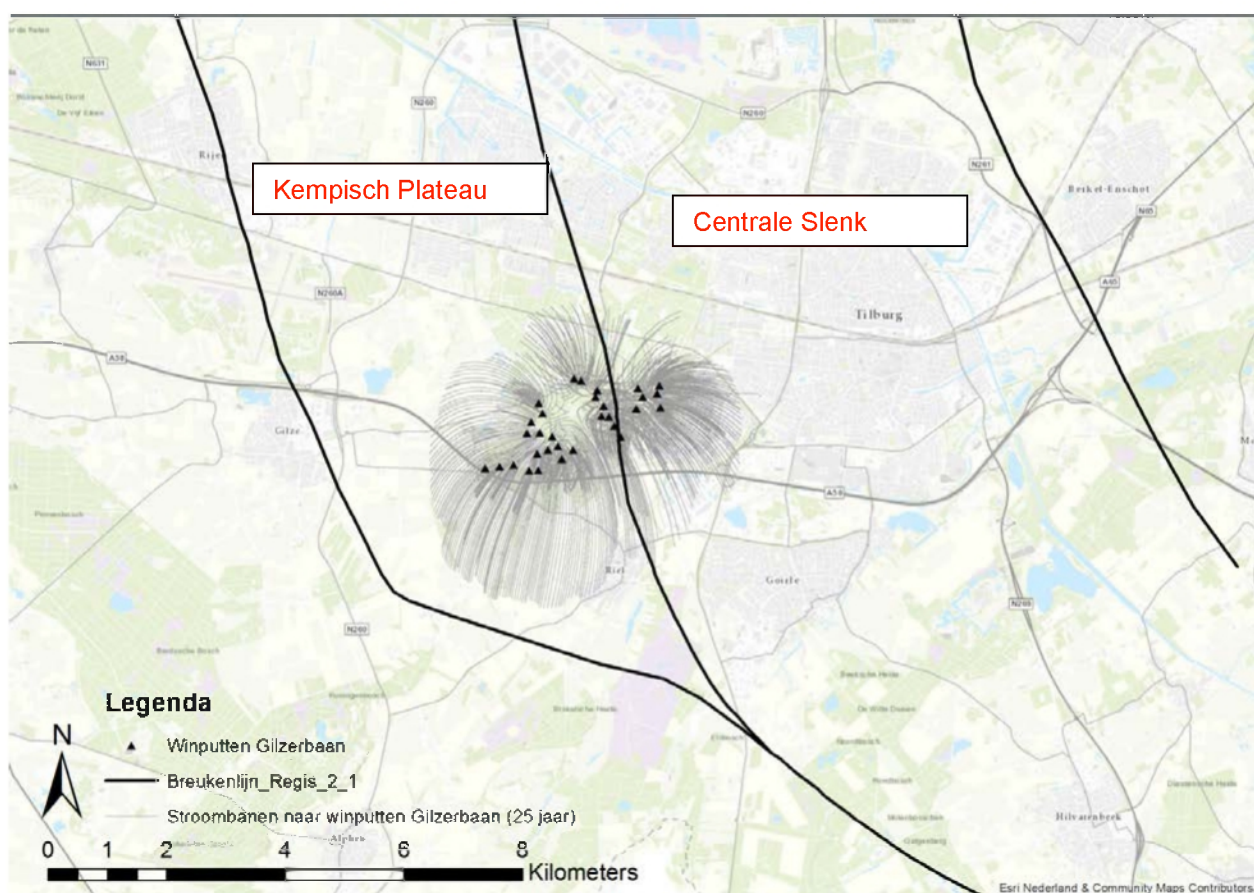
Figuur 3-4 Waterbalanstermen

De totale waterbalans komt er dan uit te zien zoals gepresenteerd in Figuur 3-5.



Figuur 3-5 Weergave van de waterbalans

Grondwaterwinningen die op de grens liggen van twee deelgebieden onttrekken ook grondwater uit beide deelgebieden. Dit speelt voornamelijk voor winning Tilburg, waar een deel van de pompputten in het deelgebied Kempisch Plateau en een deel in de Centrale Slenk liggen. Een analyse van de berekende stroombanen laat zien dat er weinig water over de breuk heen stroomt. Daarom is in de analyse voor de waterbalans de winning opgesplitst, afhankelijk van de precieze ligging van de pompput per deelgebied.

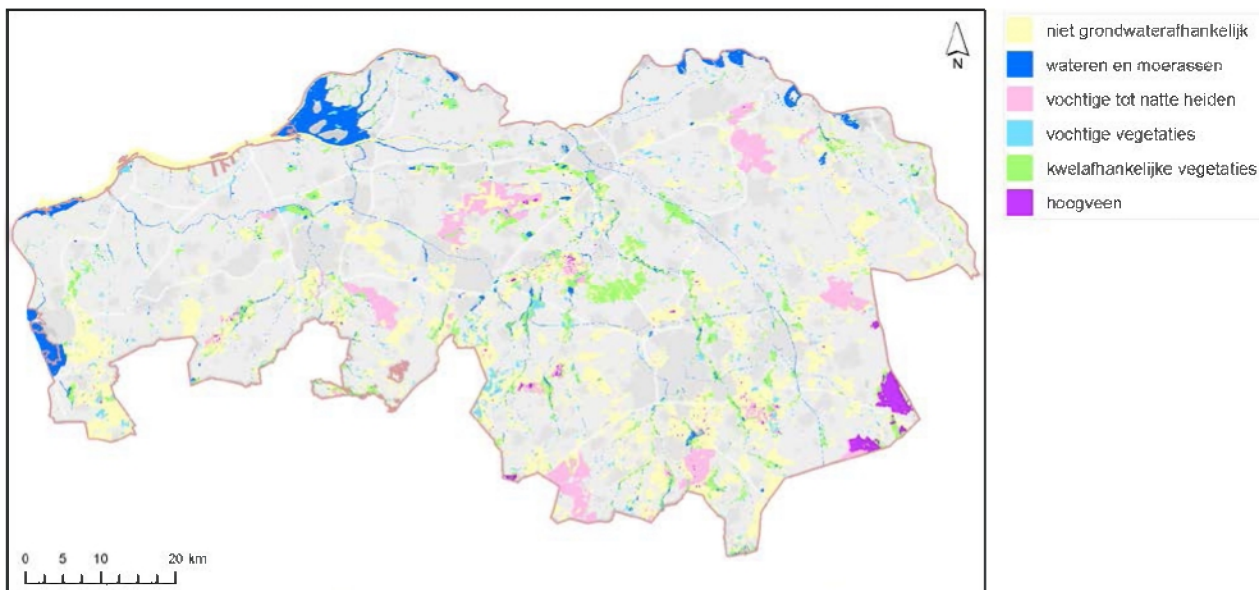


Figuur 3-6 Illustratie herkomst van onttrokken grondwater in winning Tilburg, met berekende stroombanen naar de winputten

3.4 Effecten op grondwaterstand en stijghoogte

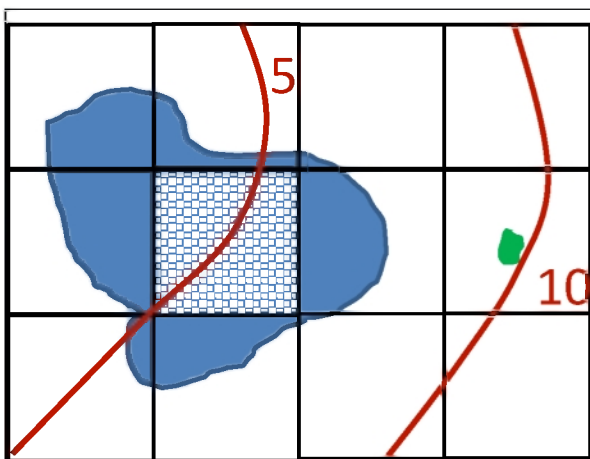
De verandering in gemiddelde grondwaterstand en stijghoogte wordt per deelgebied en laag uitgerekend. Voor de bovenste laag wordt de verandering in grondwaterstand verdeeld over natuurgebied, landbouwgebied en stedelijk gebied.

Voor de natuurgebieden wordt het gemiddeld effect bepaald voor de grondwaterafhankelijke natuurgebieden. Deze keuze is gemaakt omdat deze natuurgebieden het meest afhankelijk zijn van voldoende grondwater. Er is gebruik gemaakt van de Ambitiekaart Natuur van het natuurbeheerplan aangeleverd door de provincie (Figuur 3-7). Deze kaart laat zien waar de natuurgebieden liggen. Voor de draagkrachtstudie wordt niet gekeken naar de verschillende natuurdoeltypen en bijbehorende doelstellingen.



Figuur 3-7 Ligging van natuurgebieden (bron: Ambitiekaart natuur provincie Noord-Brabant)

De typen “niet grondwaterafhankelijke natuur (droge gebieden)” en de “wateren en moerassen” worden als niet-grondwaterafhankelijk beoordeeld. De beoordeling natuur heeft dus betrekking op de vochtige en natte heiden, de vochtige vegetaties, de kwelafhankelijke vegetaties en het hoogveen. In de analyse wordt geen onderscheid tussen deze natuurtypen gemaakt. Er wordt dus alleen een beoordeling gemaakt voor de effecten voor de grondwaterafhankelijke natuurgebieden. De natuurgebieden zijn soms relatief klein ten opzichte van de gridcellen van 250 meter. Daarom wordt het effect van de ingreep op de grondwaterstanden en stijghoogte oppervlak gewogen gemiddeld voor alle natuurgebieden. Een voorbeeld is gepresenteerd in onderstaand kader.



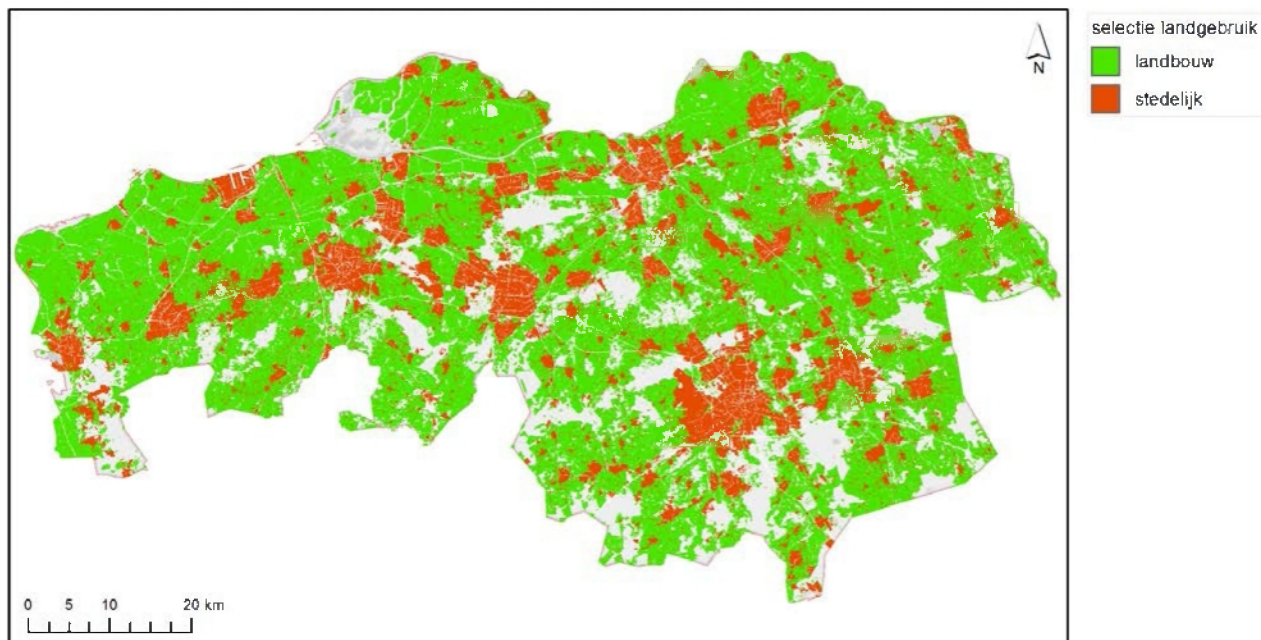
Voorbeeld gebiedsgewogen gemiddelde

Er is een groot natuurgebied (blauw) en een klein natuurgebied (groen). Per cel wordt beoordeeld welk oppervlak natuur hier binnen ligt en wat de gemiddelde verandering is in grondwaterstand. Bijvoorbeeld de gearceerde cel in het blauwe natuurgebied ligt 100% binnen de cel. Het groene gebied ligt voor 10% binnen de cel. De gemiddelde daling in grondwaterstand voor deze twee cellen is:

$$5\text{cm} * (100 / 100) + 10\text{cm} * (10 / 100) = 6 \text{ cm}$$

Hetzelfde principe wordt voor alle cellen uitgevoerd.

De ligging van de landbouw en stedelijk gebied is ontleend uit het LGN6 bestand. In bijlage 1 is gespecificeerd welke LGN categorie is toegekend aan natuur, landbouw of stedelijk gebied.

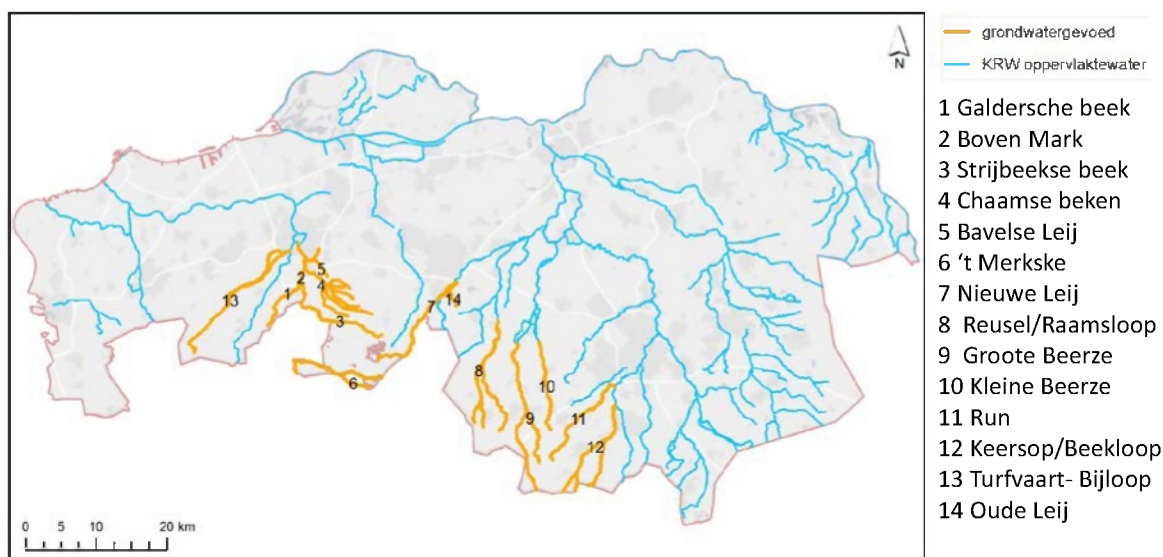


Figuur 3-8 Ligging van de stedelijke en landbouwgebieden

Het effect op de stijghoogte wordt bepaald in modellaag 10, midden in het tweede watervoerende pakket.

3.5 Effecten op beekafvoer

De verandering in beekafvoer wordt uitgerekend als de verandering in beekafvoer (%) per deelgebied. De analyse wordt uitgevoerd voor een selectie van beken die weinig beïnvloed worden door bovenstroomse aanvoer of RWZI effluent. De geselecteerde beken worden door de waterschappen herkend als beken waarvan de afvoer weinig door de mens gestuurd kan worden. Deze korte beeksystemen hebben een groot risico op droogval in de zomer. De 13 geselecteerde beektrajecten hebben een relatief grote grondwater component (Figuur 3-9). Grote delen van Noord-Brabant hebben beken die relatief weinig beïnvloed worden door grondwater omdat de aanvoer bovenstrooms dominant is. Dit speelt voor het stroomgebied van de Dommel, vrijwel het gehele beheergebied van Aa en Maas en de poldergebieden.

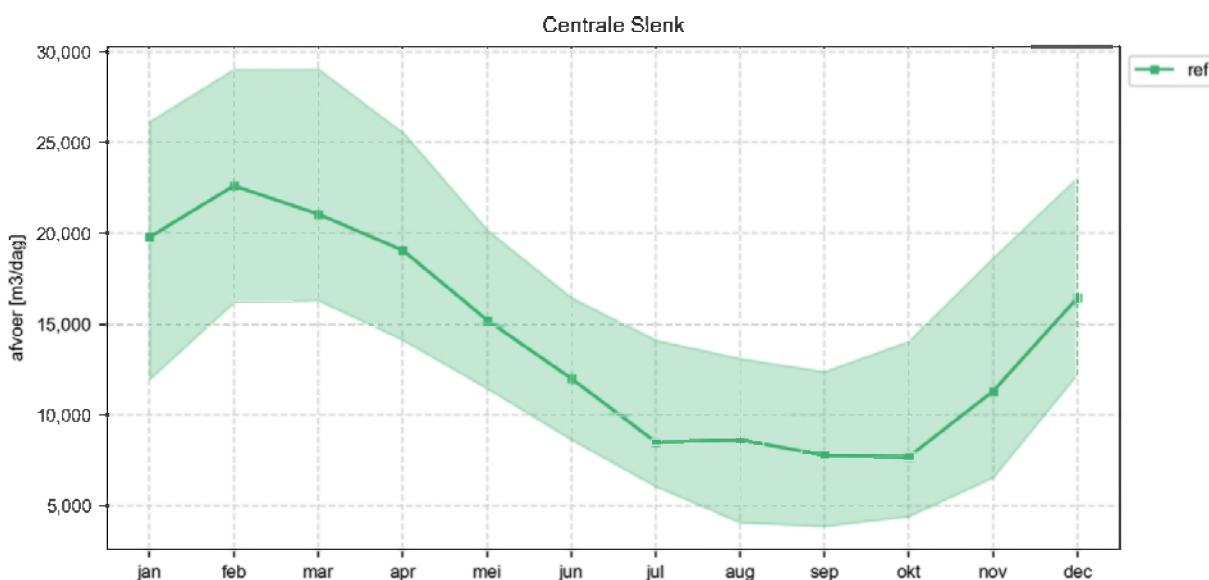


Figuur 3-9 Ligging van (grondwater gevoede) beken

Voor de grondwatergevoede beken wordt op basis van de modelberekeningen een regimecurve bepaald, zie Figuur 3-10. Deze wordt als volgt berekend:

1. De berekende afvoer van modellaag 1 t/m 3 wordt gesommeerd tot een enkele tijdreeks van de afvoer van de grondwatergevoede beken.
2. Binnen de periode 2000 t/m 2009 wordt per maand de mediaan van de afvoer bepaald. Zo ontstaat het verwachte verloop van de beekafvoer over het jaar (donkergroene lijn Figuur 3-10).
3. Daarnaast wordt per maand de 10^{de} en 90^{ste} percentielwaarde bepaald. Dit geeft de bandbreedte binnen de 10 doorgerekende jaren in afvoer weer. De bandbreedte geeft inzicht in de variatie tussen de natte en drogere jaren weer (lichtgroen vlak in Figuur 3-10).

De regimecurve heeft alleen betrekking op de basisafvoer, dus niet op afvoerpieken als gevolg van hevige neerslag. De basisafvoer is hoog in de winter en het voorjaar omdat de verdamping lager en de bodem verzadigd is. In de zomer is de verdamping relatief hoog en is de grondwateraanvulling, en daardoor ook de basisafvoer, lager. Het effect van onttrekking en klimaatverandering wordt in beeld gebracht door de regimecurves van verschillende scenario's met elkaar te vergelijken.



Figuur 3-10 Regimecurve grondwatergevoede beken voor de huidige situatie

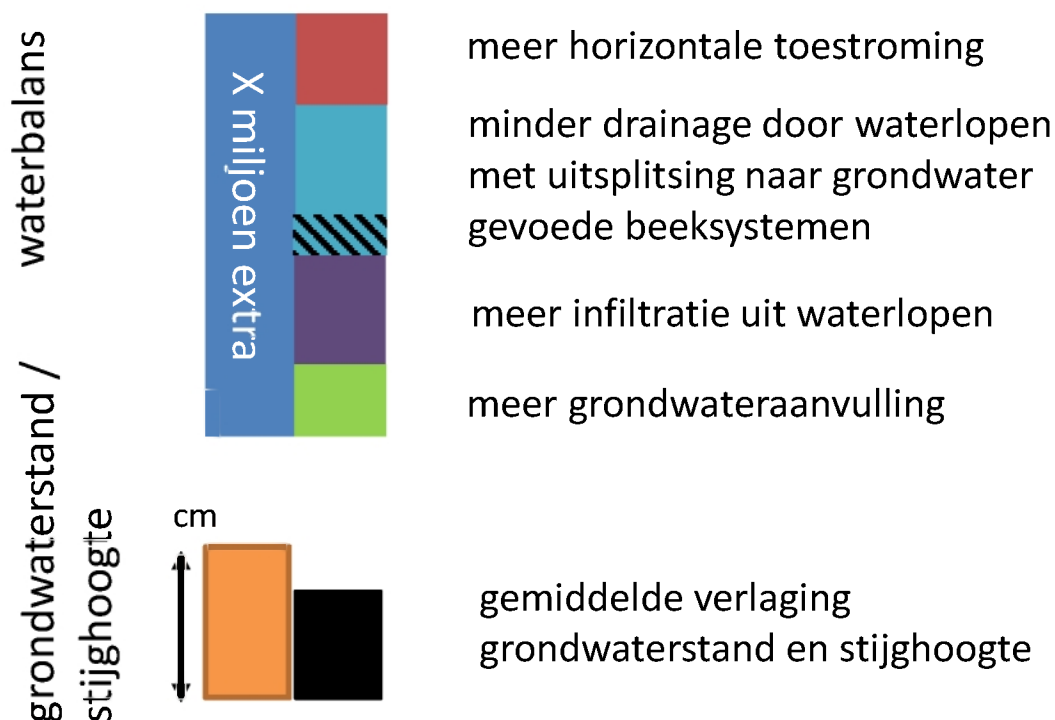
3.6 Samenvattend beeld

De scenario's geven een beeld van de gevoeligheid van het grondwatersysteem voor ingrepen. Dat wordt gedaan door te kijken naar effecten op de waterbalans inclusief beekafvoer, de grondwaterstand en de stijghoogte. In een samenvattend plaatje worden deze componenten bij elkaar gebracht (Figuur 3-11). Deze figuur wordt gemaakt voor de gehele provincie (alle 5 deelgebieden) en per deelgebied.

Per deelgebied kan een verschillende reductie of toename in onttrekkingsdebiet worden toegepast. Om de gebieden toch onderling te kunnen vergelijken wordt gekeken naar het aandeel water dat extra toestroomt of minder wegstroomt. Het water dat extra onttrokken wordt, komt namelijk uit horizontale richting of uit het oppervlaktewater. Per deelgebied en watervoerend pakket wordt dit aandeel in beeld gebracht. Voor oppervlaktewater wordt onderscheid gemaakt in infiltratie en drainage. Voor de drainerende beken wordt in beeld gebracht wat het aandeel is van de grondwater gevoede beken (zie Figuur 3-9 voor de ligging van deze beken).

Voor de klimaatscenario's zal in beeld worden gebracht in hoeverre de grondwateraanvulling verandert (verschil tussen neerslag en actuele verdamping).

Onderaan de figuur wordt weergegeven hoeveel cm de grondwaterstand en stijghoogte veranderen.

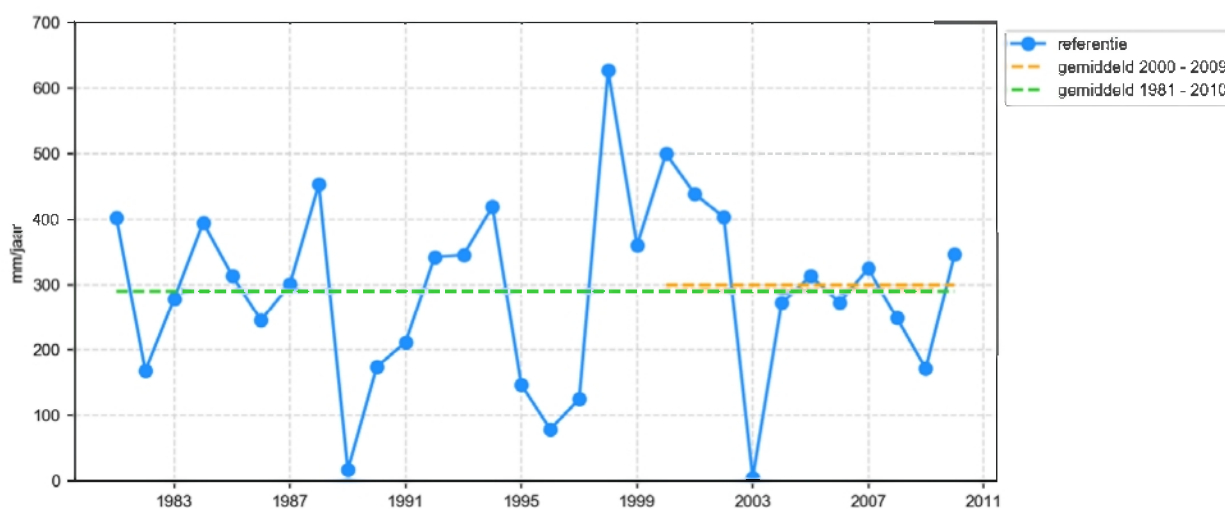


Figuur 3-11 Samenvattend beeld van de draagkracht

4 Definitie van de referentie situatie

De huidige situatie wordt als referentiesituatie gebruikt om de veranderingen aan te toetsen. De huidige situatie is gedefinieerd als:

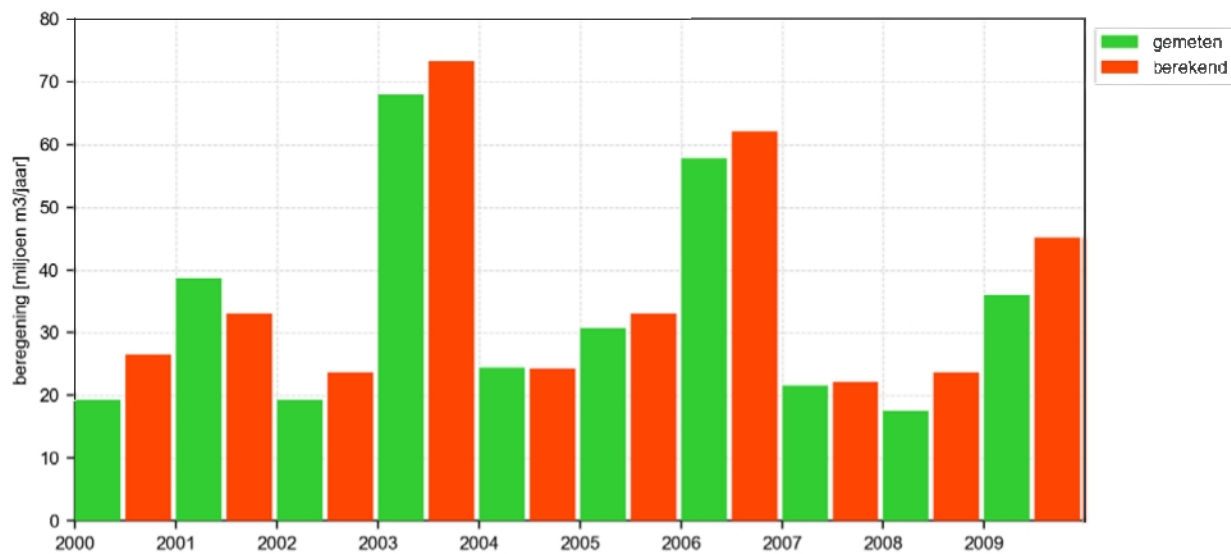
- Het huidige klimaat met de gemiddelde grondwateraanvulling (neerslag minus verdamping) in de jaren 2000 – 2009. De grondwateraanvulling in deze periode komt goed overeen met de grondwateraanvulling in de periode 1981-2016 (Figuur 4-1). Er is gekozen voor een periode tot 2010, omdat na 2010 nog geen klimaattransformaties van het KNMI beschikbaar zijn¹.



Figuur 4-1 Neerslagoverschot per jaar en gemiddelde voor de (model)periode 2000 – 2009 voor het KNMI station Gilze Rijen

- De gemiddelde hoeveelheid onttrokken grondwater door de waterbedrijven in het jaar 2016. Deze hoeveelheden zijn aangeleverd door Brabant Water en Evides. In totaal wordt er 199 miljoen m³ grondwater per jaar onttrokken. De onttrekking vindt per winning soms plaats over verschillende watervoerende pakketten.
- De gemiddelde hoeveelheid onttrokken grondwater door bedrijven in de periode 2015 – 2016. Deze gegevens zijn aangeleverd door de provincie en de waterschappen Aa en Maas en De Dommel. Grote tijdelijke onttrekkingen zoals bodemsaneringen zijn buiten beschouwing gelaten, omdat dit als tijdelijke onttrekkingen worden gezien. In totaal wordt er 21,5 miljoen m³ grondwater per jaar onttrokken.
- De hoeveelheid berekening afgeleid uit de berekeningstool (Figuur 4-2). De gemiddelde hoeveelheid berekening is bepaald uit een vergelijking van de geregistreerde debieten en de berekende berekening met het Brabant model. De situatie van 2016 is als een representatieve situatie gekozen. Dit komt overeen met een gemiddelde hoeveelheid van 36 miljoen m³ in Noord-Brabant.
- Kleine onttrekkingen zijn buiten beschouwing gelaten omdat onbekend is waar de onttrekking plaatsvindt en op welke diepte wordt onttrokken.

¹ Voor 240 neerslagstations en 14 temperatuur- en globale stralingsstations in Nederland zijn reeksen voor de referentieperiode 1981-2010 getransformeerd voor de KNMI'14-scenario's rond 2050 en 2085.



Figuur 4-2 Jaarlijks gebruik van grondwater voor beregening in Noord-Brabant op basis van registraties (metingen) en berekeningen met het Brabant model

Literatuur

Allen, R.G, L.S. Pereira, T.A. Howell en M.E. Jensen (2011) Evapotranspiration Information Reporting: I. Factors Governing Measurement Accuracy; Agricultural Water Management, 98-2011, PAG 899-920.

Boleij, J. (2012). Vergelijking FLUZO – SWAP – MetaSWAP. Modelvergelijking van drie onverzadigde zone modellen. 9 november 2012. Afstudeerrapport bij RHDHV en de WUR.

NHV (2015). Verdamping in de hydrologie. NHV werkgroep verdamping.

RHDHV 2013. Kwaliteitsrapportage grondwatermodellen Noord-Brabant en Limburg. RHDHV rapport 9X107. 8 februari 2013

RHDHV 2014. Grondwatermodellering effecten beregeningsbeleid Noord-Brabant Technisch achtergronddocument. RHDHV rapport BC8771

Verhagen, F., B. van der Wal, J. Moorman, H. Westerhof, K. Peerdeman, J. van Sijl (2014). Ontwikkeling Brabants grondwatermodel tot kennissysteem. H2O-Online / 10 december 2014

Verhagen F., T. Spek, Ph Witte, B. Voortman, E. Moors, E. Querner, G. van den Eertwegh, J. van Bakel (2014). Expertdialoog de Veluwe: Begrijpen we het watersysteem? Stromingen 20(3):15

Bijlage 1

Indeling naar natuur, landbouw en
stedelijk gebied volgens LGN6

LGN code	Naam	Categorie
1	agrarisch gras	Landbouw
2	maïs	Landbouw
3	aardappelen	Landbouw
4	bieten	Landbouw
5	granen	Landbouw
6	overige landbouwgewassen	Landbouw
8	glastuinbouw	Landbouw
9	boomgaarden	Landbouw
10	bloembollen	Landbouw
11	loofbos	Natuur
12	naaldbos	Natuur
16	zoet water	Overig
17	zout water	Overig
18	bebouwing in primair bebouwd gebied	Stedelijk
19	bebouwing in secundair bebouwd gebied	Stedelijk
20	bos in primair bebouwd gebied	Stedelijk
22	bos in secundair bebouwd gebied	Stedelijk
23	gras in primair bebouwd gebied	Stedelijk
24	kale grond in bebouwd gebied	Stedelijk
25	hoofdwegen en spoorwegen	Overig
26	bebouwing in buitengebied	Stedelijk
28	gras in secundair bebouwd gebied	Stedelijk
30	kwelders	Natuur
31	open zand in kustgebied	Natuur
32	duinen met een lage vegetatie	Natuur
33	duinen met een hoge vegetatie	Natuur
34	duinheide	Natuur
35	open stuifzand en/of rivierzand	Natuur
36	heide	Natuur
37	matig vergraste heide	Natuur
38	sterk vergraste heide	Natuur
39	hoogveen	Natuur
40	bos in hoogveengebied	Natuur
41	overige moeras vegetatie	Natuur
42	rietvegetatie	Natuur
43	bos in moerasgebied	Natuur
45	natuurgraslanden	Natuur
61	boomkwekerijen	Landbouw
62	fruitkwekerijen	Landbouw